Die Anomalien des jährlichen Temperaturganges und ihre Ursachen.

Von

Albert Schmidt (Wiesbaden.)

Mit 10 Figuren auf Tafel I und 1 Textfigur.

Bei Betrachtung des jährlichen Temperaturverlaufs, wie er in den langjährigen Tages- und Pentadenmitteln für eine grosse Anzahl Orte festgelegt ist, findet man, dass die Temperatur zwischen dem kältesten Tag im Januar und dem wärmsten Tag im Juli nicht gleichmäfsig ansteigt, bzw. fällt, sondern Unterbrechungen erleidet. Der Meteorologe bezeichnet diese Störungen in der Zeit der Wärmezunahme als Kälterückfälle, in der Epoche der Wärmeabnahme als Wärmerückfälle. Die auffälligsten Unterbrechungen, die als eine feststehende Eigentümlichkeit der jährlichen Temperaturkurve nachgewiesen sind, mögen hier nach den 60jährigen Tagesmitteln von Berlin angeführt werden.

Kälterückfälle:			Wärmerückfälle:		
6.—13.	Februar	um 1,5 ⁰	10.—15.	August	um 0,8 ⁰
8.—14.	März	um 1,1 ⁰	22.—30.	September	um 0,7 ⁰
7.—13.	April	um 0,5 ⁰	21.—24.	November	um 0,8 ⁰
18.—20.	Mai	um 0,7 ⁰	3.—16.	Dezember	um 1,2 ⁰
6.—15.	Juni	um 1,4 ⁰			

Nach dieser Zusammenstellung stellen die Kälterückfälle im Spätwinter und Juni, die Wärmerückfälle im Nachsommer und Vorwinter die bemerkenswertesten Anomalien dar, während die populären Störungszeiten, die Eisheiligen im Mai und der Altweibersommer Ende September nach den Mittelwerten zu urteilen keine besondere Neigung zu Rückfällen zeigen. Legt man der Betrachtung nur Pentadenmittel zu Grunde, dann verschwinden die letzteren fast vollständig und stärkere Anomalien bleiben nur noch im Februar und Juni bestehen.

Soweit die Unterbrechungen in dem mittleren Temperaturgang mehr oder weniger stark ausgeprägt sind, haben sie bisher zahlreiche Darstellungen gefunden.[1] Auch über die Rückfälle des Mai liegt eine grosse Literatur vor, die jedoch, an Hand der Mittelwerte untersucht, nur den Nachweis erbringen konnte, dass eine bemerkenswerte Störung im Mai kaum vorhanden ist.

Es fragt sich nun, ob die aus den langjährigen Mittelwerten hervorgehenden Anomalien wirklich in einzelnen Monaten stärker und häufiger auftreten als in den übrigen Zeiten. Schon Hellmann[2] hat darauf hingewiesen, dass man aus den Störungen des mittleren Ganges nicht auf grössere Seltenheit oder geringere Intensität der Kälterückfälle des Mai gegenüber denjenigen des Juni zu schliessen braucht, sondern nur auf eine grössere Verschiedenheit ihrer Eintrittszeiten. Der Umstand, dass die Rückfälle an keine bestimmten Termine gebunden sind, lässt es aber auch möglich erscheinen, dass die normale, vom Sonnenstand abhängige Temperaturänderung eine Fälschung in den Grösseverhältnissen der Anomalien im mittleren Verlauf hervorruft. Ziehen wir diese in Betracht, dann ist es leicht verständlich, dass die Mittelwerte gleich starke Störungen im Frühling zur Zeit der raschesten Wärmezunahme mehr oder weniger ausgleichen, im Februar und Juni dagegen bei geringerem Temperaturanstieg ausgeprägter hervortreten lassen. Bei den Tagesmitteln wird eine solche Verwischung erst in mehrjährigen Mitteln zum Vorschein kommen, bei Pentaden lässt sie sich schon im einzelnen nachweisen. Ebenso kann man annehmen, dass die Wärmerückfalle des August und Dezember unter gleichem Einfluss nur scheinbar intensiver sind als diejenigen des Herbstes. Es ist daher anfechtbar, die Temperaturanomalien durch Mittelwerte der Kalendertage oder gar durch Pentaden zu erforschen, wie es bisher in den meisten Untersuchungen geschehen ist.

Im Folgenden sollen deshalb die Anomalien nicht nach Mittelwerten, sondern zusammengehörig betrachtet werden, und zwar zunächst nur die Kälterückfälle des Frühjahrs und Vorsommers. Ein allgemeiner

---

[1]) Von grösseren Arbeiten aus neuerer Zeit sind besonders zu nennen: Marten, Über die Kälterückfälle im Juni (Abhandl. des Kgl. Preuss. Met. Inst. II, Nr. 3, Berlin 1902): Lehmann, Die Wärmerückfälle des Herbstes in Mitteleuropa (Thiels Landw. Jahrbücher 1911, Heft 1).

[2]) Hellmann, Über den jährlichen Gang der Lufttemperatur in Norddeutschland (Zeitschr. des Kgl. Preuss. Statist. Bureaus 1883).

Überblick lässt sich schon durch eine Auszählung der zu kalten Pentaden gewinnen. Nachstehende Tabelle I enthält die prozentige Häufigkeit der Pentaden mit negativer Abweichung in den Jahren 1902 bis 1913 nach den Beobachtungen in Frankfurt a. M.[1])

Tabelle I.

Prozentige Häufigkeit der Pentaden mit negativer Abweichung Frankfurt a. M. 1902—1913.

Abweichung	März			April		
	I—II	III—IV	V—VI	I—II	III—IV	V—VI
— 0,1° bis — 1,9° . . .	21	25	4	33	12	25
— 2,0° bis — 3,9° . . .	8	12	8	33	12	29
≦ — 4,0° . . .	—	—	4	4	12	4
— 0,1° bis — 1,9° . . .		17			24	
— 2,0° bis — 3,9° . . .		10			25	
≦ — 4,0° . . .		1			7	
zusammen		28			56	

Abweichung	Mai			Juni		
	I—II	III—IV	V—VI	I—II	III—IV	V—VI
— 0,1° bis — 1,9° . . .	25	12	29	25	29	33
— 2,0° bis — 3,9° . . .	17	12	8	25	17	25
≦ — 4,0° . . .	8	17	8	4	4	4
— 0,1° bis — 1,9° . . .		22			29	
— 2,0° bis — 3,9° . . .		12			22	
≦ — 4,0° . . .		11			4	
zusammen		45			55	

Es zeigt sich, dass zu kalte Pentaden im April ebenso häufig wie im Juni vorkommen, ferner dass die sehr kalten Pentaden im Mai, die mäſsig kalten im April und erst die wenig kalten im Juni am zahlreichsten sind. Innerhalb der Monate fallen die sehr starken Rückfälle des April und Mai in die dritte und vierte Pentade, die mäſsig starken

[1]) Jahresberichte des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. 1903—1914.

in die erste und zweite Pentade, während die Rückfälle des Juni keine bestimmten Zeiten bevorzugen.

In der Zusammenstellung der Pentadenabweichungen kommt jedoch das wesentliche der Anomalie, der Rückfall, nicht zum Ausdruck. Es ist daher festzustellen, wie sich die negativen Pentadenänderungen nach Grösse und Zeit in den Monaten März bis Juni verteilen.

Tabelle II.

Prozentige Häufigkeit der negativen Pentadenänderungen Frankfurt a. M. 1902—1913.

Pentadenänderung	März			April		
	VI—I I—II	II—III III—IV	IV—V V—VI	VI—I I—II	II—III III—IV	IV—V V—VI
— 0,1° bis — 1,9° . . .	42	25	23	29	25	8
— 2,0° bis — 3,9° . . .	8	12	4	17	8	23
≦ — 4,0° . . .	—	8	4	16	12	12
— 0,1° bis — 1,9° . . .		27			21	
— 2,0° bis — 3,9° . . .		8			15	
≦ — 4,0° . . .		5			13	
zusammen		40			49	

Pentadenänderung	Mai			Juni		
	VI—I I—II	II—III III—IV	IV—V V—VI	VI—I I—II	II—III III—IV	IV—V V—VI
— 0,1° bis — 1,9° . . .	12	23	23	12	38	25
— 2,0° bis — 3,9° . . .	8	4	4	12	12	23
≦ — 4,0° . . .	4	12	12	20	4	4
— 0,1° bis — 1,9° . . .		18			25	
— 2,0° bis — 3,9° . . .		6			15	
≦ — 4,0° . . .		10			10	
zusammen		34			50	

Nach Tabelle II sind negative Pentadenänderungen überhaupt im Juni und April gleich häufig, im Mai dagegen weniger zahlreich. Nach Stufen weist der April die meisten starken Rückfälle auf, während diese im Mai und Juni in gleicher Zahl vorkommen. Die mäſsig

starken Rückfälle sind im April ebenso häufig wie im Juni und nur die schwachen Rückfälle zeigen ein Maximum im Juni.

Beide Tabellen lehren die interessante Tatsache, dass Kälterückfälle im April und Mai mindestens ebenso oft vorkommen wie im Juni, und dass die starken Anomalien sowohl nach Grösse des Rückfalls als auch hinsichtlich der niedrigsten Temperaturen im April häufiger sind als im Juni, während die Rückfälle des Mai etwa in der Mitte stehen. Dabei ist zu überlegen, dass die Abweichungen der Pentaden von den Normalmitteln gebildet sind, welche die von dem Insolationstemperaturgang beeinflussten Anomalien enthalten. Es ist daher zu erwarten, dass sich im einzelnen ein noch grösserer Unterschied in der Grössenordnung der Störungen ergibt. Um diesen zu ermitteln, ist es zweckmäfsig, die Rückfälle nach Tageswerten zu untersuchen und sie einzeln nach dem jeweils kältesten Tag zu ordnen. Diese Berechnung wurde für 23 Rückfälle des April und je 30 Rückfälle der Monate Mai und Juni auf Grund der in Hellmann's «Klima von Berlin» [1]) mitgeteilten Tageswerte der Jahre 1871—1907 durchgeführt. Tabelle III enthält die Mittelwerte dieser Zusammenfassung in Differenzen des kältesten Tages gegen die einzelnen vorausgegangenen Tage.

Tabelle III.

Mittlere Differenz des kältesten Tages, 0, gegen die vorausgegangenen Tage bei Kälterückfällen.

Monat	0—10	0—9	0—8	0—7	0—6	0—5	0—4	0—3	0—2	0—1
April . . .	—5,9	—6,3	—6,7	**—6,8**	—6,7	—6,4	—6,2	—5,9	—4,8	—3,4
Mai . . .	—4,7	—5,1	—6,0	—6,7	**—6,8**	—6,7	—6,5	—6,0	—4,7	—3,3
Juni . . .	—5,0	—5,2	**—5,3**	—5,1	—5,0	—5,1	—5,1	—4,8	—3,9	—2,8

Aus der Tabelle ersieht man, dass die Rückfälle des April und Mai wesentlich stärker sind als im Juni. Die Junianomalie zeigt dagegen die längste Dauer und diese muss neben der verminderten Wärmezunahme als eine Ursache ihrer bevorzugten Stellung in dem mittleren Temperaturgang angesehen werden. Doch könnte auch, wie

[1]) Unter Mitwirkung des Verfassers fortgeführt von v. Elsner und Schwalbe II. Teil: Lufttemperatur (Abhandl. des Preuss. Met. Inst. Bd. III Nr. 6.)

es Hellmann vermutete, eine geringere Verschiedenheit in den Eintrittszeiten Veranlassung dazu geben. Aus den untersuchten Kälterückfällen der Jahre 1871—1907 ergeben sich als mittlere Termine der 16. April, der 18. Mai und der 15. Juni. Die mittlere Abweichung beträgt im April ± 7, im Mai ± 4 und im Juni ± 5 Tage. Als Maximum der Abweichung kamen im April 14, im Mai 9 und im Juni 15 Tage vor. Eine Bevorzugung des mittleren Datums im Juni ist also nicht zu erkennen, die Eintrittszeit ist sogar gegenüber dem Mai grösseren Schwankungen unterworfen.

Als Resultat der bisherigen statistischen Untersuchung können wir anführen, dass der mittlere Temperaturgang ein unrichtiges Bild der Anomalien gibt. Die Kälterückfälle im April und Mai sind nach Intensität und zeitlichem Eintritt weit markanter als diejenigen des Juni. Nur die Dauer des Temperaturrückganges ist im Juni grösser und dieser Umstand bewirkt zusammen mit der geringeren Wärmezunahme ein stärkeres Hervortreten in den langjährigen Tages- und Pentadenmitteln. Im Mai werden demnach Kälterückfälle relativ kältere Tage bringen als im Juni, wenn auch die Neigung zu Frostgraden, deretwegen sie besonders gefürchtet sind, sehr gering ist. Ihre mittlere Eintrittszeit am 18. Mai ist aber verschieden von den an die Heiligennamen Mamertus, Pankratius und Servatius anknüpfenden Tage vom 11.—13. Mai. Diese Verschiebung erklärt sich, worauf Hellmann[1]) aufmerksam gemacht hat, daraus, dass der Ruf der Eisheiligen älter ist als der Gregorianische Kalender und ihr Eintritt daher nach heutiger Rechnung 10 Tage später stattfindet, also am 21. bis 23. Mai.

Ohne weitere Untersuchung können wir schliessen, dass auch die Wärmerückfälle des September unter dem Einfluss der stärkeren Temperaturabnahme in den langjährigen Mittelwerten gegenüber denjenigen des Vorwinters zurücktreten, tatsächlich aber dieselben an Intensität übertreffen.

Wir wollen uns nun mit der Erklärung der Anomalien und ihrer oben geschilderten Verteilung im jährlichen Temperaturgang befassen. Sind es lokale Einflüsse im Rückfallgebiet selbst, oder entstehen die Störungen durch eine in bestimmten Zeiten auftretende Zufuhr relativ warmer oder kalter Luftmassen, in jedem Fall werden sich Beziehungen zwischen den Temperaturanomalien und den sie begleitenden Luftdruck-

[1]) Hellmann, Kälterückfälle im Juni. Met. Zeitschr. H. 17, 333: 1900.

verhältnissen erkennen lassen. Soweit man bisher beim Studium der Rückfälle die synoptischen Wetterkarten als Hilfsmittel heranzog, hat man denn auch gefunden, dass eine jede Anomalie die Folgeerscheinung einer charakteristischen Luftdruckverteilung ist. So findet Marten aus 10 jährigen Mitteln für die zweite Dekade des Juni ein Gebiet hohen Druckes über dem Ozean westlich von Frankreich, von dem aus sich ein Keil nach Mitteleuropa in das Gebiet tiefen Druckes hinein erstreckt. Daraus resultieren für Mitteleuropa westnordwestliche Winde, die als kälteste Luftströmung dieser Jahreszeit Abkühlung bringen. Im Mai liegt das barometrische Maximum weiter nördlich im Westen der Britischen Inseln und tiefer Druck im Südosten, es treten nordwestliche Winde auf, die in diesem Monat das Mininum der thermischen Windrose darstellen. Auch für die Wärmerückfälle des Herbstes, die Lehmann untersuchte, wurde als nächstliegende Ursache eine warme südöstliche Luftströmung gefunden, welche die Folge eines im Südosten liegenden Hochs und tiefen Druckes im Nordwesten ist.

Diese Luftdruckanordnungen liessen eine Erklärung aufkommen, die Assmann[1]) und v. Bezold[2]) näher ausgeführt haben, dass nämlich die Land- und Wasserverteilung und ihr verschiedenes thermisches Verhalten in den Jahreszeiten eine Hauptrolle beim Zustandekommen der die Rückfälle hervorrufenden Wetterlagen spielt. Man begnügte sich jedoch mit der Vermutung, ohne auf die Einzelheiten der dadurch geschaffenen Verhältnisse und ihren Zusammenhang einzugehen. Es ist daher notwendig, die Lageänderungen der durch die Land- und Wasserverteilung erzeugten Luftdruckgebilde einmal näher zu betrachten. Wir bezeichnen diese Gebilde, die in einem innigen Zusammenhang mit der mittleren Druckverteilung stehen, mit Bronnow[3]) im Gegensatz zu den konstanten Druckgebieten der allgemeinen Ferrelschen Zirkulation und den schnell wechselnden temporären als halbjährige Druckgebiete. Zur Veranschaulichung wählen wir einige typische Wetterlagen des Jahres 1911, die sich auch ohne volle Übereinstimmung mit der mittleren Luftdruckverteilung ungezwungen als halbjährige Druckgebiete erkennen lassen (s. Tafel I.).

---

[1]) Assmann, Maifröste (Österr. Zeitschr. für Met. 18. 146; 1883).

[2]) v. Bezold. Dasselbe (Abhandl. math.-phys. Kl., Kgl. Akad. d. Wiss. München 14; 1883).

[3]) Bronnow, Bewegung der Maxima (Wild, Repert. für Met. 10, Nr. 8, 1887.)

Am einfachsten liegen die Verhältnisse um die Mitte des Winters und Sommers. Im Januar, Karte Nr. 1, sehen wir hohen Druck über dem Inneren des Kontinentes, während das über dem relativ warmen Ozean liegende Tief mit dem konstanten Barometermininum bei Island vereinigt ist. Die Luftströmung ist eine vorwiegend östliche und bringt Kälte. Im Februar (Karte 2) tritt eine Änderung in der Druckverteilung ein. Über Nordrussland und Finnland bildet sich ein Hoch aus, das ozeanische Tief verlagert sich etwas südwärts und sendet bereits einen Ausläufer nach der Nordsee hin. Dieser Furche strömen kalte Nordostwinde entgegen, die in Mitteleuropa die Temperatur herabdrücken. Im März findet die relativ stärkste Erwärmung auf der Nordhemisphäre zwischen 50 und 60° Breite statt. Diese rapide Temperaturzunahme macht sich in der raschen Verlagerung des Minimums (Karte 3) in der Richtung der Februarfurche nach Mitteleuropa hin geltend, während das nordöstliche Hoch nach dem sich noch kaum erwärmenden Nordmeer vorrückt. Nach einer schnellen Erwärmung auf der Vorderseite des Tiefs haben wir daher in seinem nördlichen Gebiet einen Rückfall bei nordöstlichen bis nördlichen Winden zu erwarten. Im April vollzieht sich dann der Hauptwechsel in der Druckverteilung über Land und Wasser. Das nördliche Hochdruckgebiet betritt den Ozean bei Island, das Tief den eigentlichen Kontinent. Letzteres kommt in Karte Nr. 4 nicht gut zum Ausdruck. Das halbjährige Minimum im Süden ist das stärkere und liegt im April gewöhnlich schon über dem mittleren Donaugebiet. Tritt diese Verteilung im April in der allgemeinen Druckanordnung ein, dann resultieren daraus die kältesten Winde der Jahreszeit aus nördlicher Richtung. Im Mai verschiebt sich das Minimum (Karte 5) der Temperatur nach Nordwest, das Hoch liegt im Westen der Britischen Inseln, das Tief über Südrussland. Im Juni (Karte 6) hat sich der hohe Druck noch mehr südwärts verlagert, während das Tief nach dem Inneren Asiens weitergezogen ist. Die Isobaren laufen von Nordwest nach Südost und westnordwestliche Winde verursachen niedrige Temperaturen. Das kontinentale Tief liegt jetzt über Mittelasien und das ozeanische Hoch tritt in Verbindung mit dem konstanten Azorenmaximum. Im Juli beginnt nun die entgegengerichtete Verlagerung der halbjährigen Druckgebiete. Mit abnehmender Temperatur wandert das ozeanische Hoch (Karte 7) zunächst nach den gegen den Kontinent relativ kühlen Britischen Inseln und das asiatische Tief dringt nordwärts vor. Die Wetterlage ist in

Mitteleuropa vorwiegend antizyklonal, so dass trotz westlicher bis nördlicher Winde kein Rückfall mehr stattfindet. Im August verlagert sich der hohe Druck nach Mitteleuropa (Karte 8), wo jetzt eine beträchtliche Wärmeabnahme einsetzt. Das kontinentale Tief dagegen zieht in nordwestlicher Richtung nach dem noch relativ warmen nördlichen Skandinavien. Die mittlere Druckverteilung der Karten Nr. 8 und 9 gibt ein Bild des Septemberzustandes. Das nördliche Tief erscheint auf dem Ozean bei Island während das Hoch etwa über Ungarn liegt. Südsüdöstliche Winde verursachen in Mitteleuropa hohe Temperaturen. Gegen Mitte des Winters (Karte 10) vereinigt sich das Tief wieder mit dem konstanten isländischen Minimum und das kontinentale Hoch wandert nach dem Innern Asiens.

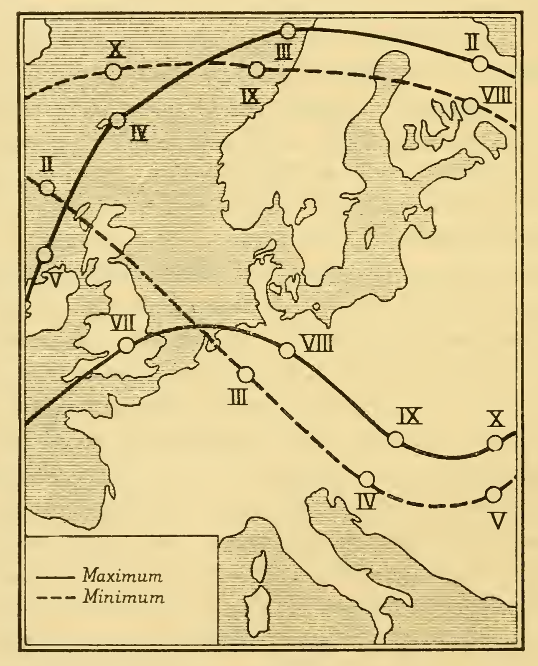


Fig. 1.

Fassen wir diese Lageänderungen zusammen, dann ergibt sich eine geschlossene Zirkulation, wie sie auf vorstehender Karte (Fig. 1) dargestellt ist. Es ist natürlich keine Fortbewegung der Druckgebiete im wahren Sinne des Wortes, sondern eine ständige Neubildung von Zyklonen und

Antizyklonen über relativ wärmsten und kältesten Gebieten. Im Winter bleibt sowohl das ozeanische Minimum bei Island wie auch das kontinentale Hochdruckgebiet über Sibirien solange bestehen, bis sich im Frühjahr nach Eintritt des Wechsels in den Wärmeverhältnissen die Luftdruckgebiete des Sommers entwickeln.

Wäre die geschilderte halbjährige Zirkulation allein mafsgebend, dann hätten wir von Januar bis Juni bei östlichen über Nord nach Westnordwest drehenden Winden tiefere, von August bis Dezember aber höhere Temperaturen als in Wirklichkeit und die Temperaturen der Störungszeiten würden den normalen jährlichen Wärmegang repräsentieren. Zwei Anomalien lassen sich jedoch schon aus der halbjährigen Zirkulation herleiten. Wie wir gesehen haben, entwickelt sich im Frühjahr ein Hochdruckgebiet in der Gegend von Island, während gleichzeitig über dem nördlichen Balkan ein Tiefdruckgebiet zur Ausbildung kommt. Zwischen beiden Gebieten verläuft der 10° östl. L., der unter diesem Gesichtspunkt als ungefähre Grenze des eurasiatischen Kontinentes zu betrachten ist. Die Zeit, in welcher der hohe Druck im Nordwesten auf dem Ozean und der tiefe Druck im Südosten auf dem eigentlichen Kontinent erscheint, können wir analog der Verspätung des Temperaturganges gegen die Insolation etwa 3 bis 4 Wochen nach dem Äquinoktium, also um Mitte April, ansetzen. Zwischen Maximum und Minimnm ergibt sich jetzt im Vergleich mit den übrigen Monaten ein grösster Druckgradient, der bei dieser Verteilung in Mitteleuropa eine Verstärkung der nordwestlichen Winde hervorruft und eine Temperaturerniedrigung verursacht. Ebenso werden um die Mitte des Herbstes stärkere südliche bis südöstliche Winde auftreten, die eine Temperaturzunahme zur Folge haben.

Bei Betrachtung der durch das verschiedene thermische Verhalten von Wasser und Land erzeugten Druckverteilung gelangen wir zu dem Ergebnis, dass die die Rückfälle verursachenden Luftströmungen eine normale Erscheinung der halbjährigen Zirkulation sind. Anomalien sind darin nur um die Mitte des Frühjahrs und Herbstes zu finden, also zu den Zeiten, in welchen ein grösserer Druckgradient eine Zunahme der Luftbewegung hervorruft. Weiterhin ergibt sich, dass Anomalien nur innerhalb des von der halbjährigen Zirkulation umkreisten Gebietes, also in Mitteleuropa, auftreten können.

Da wir jedoch gesehen haben, dass mehrere Störungen im jährlichen Temperaturgang auftreten und diese durch Druckverteilungen verursacht

werden, die der halbjährigen Zirkulation angehören, so müssen Faktoren mitwirken, die zu gewissen Zeiten diese Druckverteilung besser hervortreten lassen als in den dazwischen liegenden Perioden.

Man kann dabei zunächst an die grosse allgemeine Zirkulation denken und sich eine Einwirkung derselben nach zwei Richtungen hin vorstellen. Erstens wird eine Verlagerung der konstanten Maxima und Minima auch eine Bahnänderung der halbjährigen Zirkulation veranlassen. Zweitens kann eine Verstärkung oder Abnahme der allgemeinen Zirkulation eintreten, die wahrscheinlich auf die halbjährige Zirkulation kräftigend oder schwächend einwirkt. So ist z. B. im Jahre 1911 das lange Verweilen hohen Druckes im Frühjahr im Nordwesten und im Sommer über Mitteleuropa auf eine stärkere Intensität des halbjährigen Maximums zurückzuführen, während man bisher allgemein eine direkte Verlagerung des Azorenmaximums als Ursache angab. Bei den langperiodischen Änderungen der allgemeinen Zirkulation können wir daher annehmen, dass die Störungen in einzelnen Jahren stärker oder schwächer auftreten, eine Erklärung der Anomalien selbst schliesst jedoch einen Einfluss der allgemeinen Zirkulation aus.

Es bleibt jetzt nur noch das Verhalten der temporären Luftdruckgebiete übrig. Es sind dies die scheinbar regellos wandernden Zyklonen und Antizyklonen, welche die in den mittleren Breiten auftretenden unregelmäfsigen Druckänderungen hervorrufen, die man als «unperiodische» Änderungen bezeichnet. Während in der mittleren Druckverteilung die halbjährigen Luftdruckgebiete sehr ausgeprägt und die konstanten noch einigermafsen deutlich hervortreten, ist von den temporären Gebieten darin nichts zu erkennen. In den täglichen Wetterkarten dagegen spielen diese Gebilde eine Hauptrolle, die erst durch örtliche und zeitliche Mittelbildung eliminiert wird. Diese von West nach Ost wandernden Gebilde gehen aus den halbjährigen Druckgebieten hervor, indem letztere unter dem Einfluss ihrer eigenen vom Temperaturgefälle Äquator—Pol abhängigen Zirkulation zur Quelle nach Osten ziehender Hoch- und Tiefdruckgebiete werden. Sie sind aber gleichfalls thermischen Ursprunges und stehen zusammen mit den halbjährigen Gebieten in einem untergeordneten Verhältnis zur allgemeinen Zirkulation. Alle diese Vorgänge sind in neuester Zeit Gegenstand einer Reihe von Arbeiten geworden. In erster Linie ist hier Defant[1]) zu nennen, der durch seine Unter-

[1]) Defant, Die Veränderungen in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre in den gemäfsigten Breiten der Erde (Sitz.-Ber. der Wiener Akad. IIa Abt. Bd. 121 (1912).

suchungen über die Gesetzmäfsigkeiten in der Entwicklung und Fortbewegung der temporären thermischen Druckgebiete einen neuen Weg zu ihrer Erkenntnis angebahnt hat. Als Resultat dieser Untersuchungen fand Defant, dass in den gemäfsigten Breiten eine Art nach Osten fortschreitender Wellen existiert. Unter diesen Wellen treten besonders vier hervor. deren mittlere Periodenlänge nach den Schwankungen des Niederschlages im Jahre 1909 auf der nördlichen Hemisphäre 6, 9, 13 und 25 Tage beträgt. Bei einer Untersuchung der Temperatur- und Niederschlagsschwankungen zu Frankfurt a. M. fand ich im Mittel von 4 Jahren Periodenlängen von 6, 15 und eine grösste von 30—32 Tagen.

In dieser west-östlichen Zirkulation der temporären Druckgebiete, die an der Erdoberfläche die bisher als «unperiodische» Schwankungen bezeichneten Wechsel des Luftdruckes und der übrigen meteorologischen Elemente hervorrufen, haben wir nun den Faktor zu suchen. der zu gewissen Zeiten die halbjährige Zirkulation mehr, in den Zwischenzeiten aber weniger hervortreten lässt. Den Vorgang wollen wir an einem Beispiel beschreiben.

Wir sahen, dass um die Mitte des Frühjahrs, wenn sich über dem Kontinent im Südosten tiefer Druck und im Nordwesten über dem Ozean hoher Druck entwickelt, ein grösster Gradient in der Druckverteilung über Mitteleuropa entsteht, der im April eine Temperaturerniedrigung bedingt. Kommt nun gerade zu dieser Zeit eine Depression der die Erde umkreisenden Wellen auf dem Kontinent an, dann wird sich dieselbe mit dem Tiefdruckgebiet im Südosten vereinigen. Die nachfolgende Antizyklone dagegen wird mit dem nordwestlichen Hoch in Verbindung treten. In diesem Fall wird die kalte Luftströmung auf der Rückseite der ostwärts wandernden Depression durch die untere nordwestliche Strömung verstärkt, so dass in Mitteleuropa ein beträchtlicher Temperaturrückgang stattfindet. Dauer und Intensität des Rückfalls werden dabei von der Länge der Welle abhängig sein, welcher die mitwirkenden Druckgebiete angehören. Nach den von mir berechneten Periodenlängen lässt sich als Dauer eines Rückfalls ein Minimum von 3, ein Maximum von 15 und ein mittlerer Wert von 7—8 Tagen angeben. Wie aus Tabelle III ersichtlich ist, tritt das Minimum im Mittel 7 Tage nach dem vorausgehenden Maximum ein, die meisten Rückfälle werden demnach durch eine entsprechende Zusammenwirkung der halbjährigen Zirkulation mit Druckgebieten der 15tägigen Welle zustande kommen. Die grösste Intensität ist jedoch in der 30 tägigen Periode zu erwarten,

welche wahrscheinlich durch Kombination der 15 tägigen und 6 tägigen Periode entsteht, die beide aliquote Teile jener sind.

Daraus ergibt sich nun weiter, dass ungefähr alle 30 Tage ein stärkerer Temperaturrückgang eintreten muss. Dieses stimmt mit den Eintrittszeiten der Anomalien im jährlichen Temperaturverlauf gut überein. Alle Störungen lassen sich also in erster Linie auf gleiche Weise als Folge der westöstlichen Zirkulation erklären. Diese allein wirkend gedacht, würden sie in allen Monaten von gleicher Grösse sein. Durch das Mitwirken der halbjährigen Zirkulation werden jedoch in der Zeit der Wärmezunahme die Abkühlungen zu auffälligen Kälterückfällen mit einem Maximum um die Mitte des Frühlings und in der Zeit der Wärmeabnahme die Erwärmungen zu bemerkenswerten Wärmerückfällen mit einem Maximum um die Mitte des Herbstes. Das Resultat der statistischen Untersuchung, dass die Rückfälle um die Mitte des Frühjahres und Herbstes die übrigen an Intensität übertreffen, wird demnach durch eine Betrachtung der den Anomalien zugrunde liegenden Ursachen vollauf bestätigt.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Der durch Mittelbildung von langjährigen Tages- und Pentadenwerten bestimmte jährliche Temperaturgang lässt die Anomalien wohl zeitlich gut erkennen, er gibt aber eine unrichtige Vorstellung von ihren Grössenverhältnissen. Der zuletzt von der Insolation abhängige normale Temperaturverlauf bewirkt, dass die Anomalien zur Zeit der grössten Wärmezunahme, bzw. Abnahme, ausgeglichen werden, während sie bei geringerer Temperaturänderung verhältnismäfsig stark hervortreten. Eine statistische Untersuchung der wahren Rückfallszeiten führte daher zu dem Ergebnis, dass die Anomalien im April und Mai grösser sind als in den übrigen Monaten des ersten Halbjahres. Daraus folgt, dass auch die Wärmerückfälle des Herbstes intensiver auftreten als diejenigen des Nachsommers und Vorwinters.

Als Ursache der Anomalien sind in erster Linie die von West nach Ost wandernden Druckgebiete anzusehen, welche infolge der ihnen eigenen Zirkulation auf der Rückseite von Depressionen Abkühlung und auf der Rückseite von Antizyklonen Erwärmung verursachen. Das Auftreten dieser Druckgebiete und der dadurch bedingten Temperaturveränderungen unterliegt mehreren Schwankungen bestimmter Periodenlänge, von denen besonders eine 15- und eine 30 tägige Periode in

Betracht kommen. Temperaturzunahmen und -abnahmen sind jedoch dabei von gleicher Grösse, so dass von Kälterückfällen im Frühjahr und Wärmerückfällen im Herbst noch keine Rede sein kann. Das Zustandekommen der Anomalien erklärt sich erst durch ein entsprechendes Zusammenwirken von Druckgebieten der westöstlichen Zirkulation mit solchen der durch das wechselnde thermische Verhalten von Wasser und Land erzeugten halbjährigen Zirkulation. Diese umkreist das als Störungsgebiet nachgewiesene Mitteleuropa und verursacht in der Zeit der Wärmezunahme die jeweils kältesten von Ost über Nord nach Westnordwest drehenden Winde und in der Zeit der Wärmeabnahme warme südliche bis südöstliche Winde. In der ersten Hälfte des Jahres werden daher die Abkühlungen, in der zweiten Hälfte die Erwärmungen der westöstlichen Zirkulation wesentlich verstärkt. Da sich auch in der halbjährigen Zirkulation zwei Störungen des Temperaturganges für Mitteleuropa, eine Abkühlung um die Mitte des Frühjahrs und eine Erwärmung um die Mitte des Herbstes nachweisen lassen, so werden die Anomalien dieser Zeiten der Intensität nach alle übrigen Störungen übertreffen.

Ein Einfluss der grossen allgemeinen Zirkulation auf das Zustandekommen und die Grössenordnung der Kälte- und Wärmerückfälle im jährlichen Temperaturgang ist nicht zu erkennen. Dagegen ist es wahrscheinlich, dass Änderungen in der Lage und Intensität der konstanten Druckgebiete das gruppenweise Auftreten stärkerer und geringerer Anomalien hervorrufen.

Typische Luftdruckverteilungen der halbjährigen Zirkulation im Jahre 1911.

